

## **CENTRAIS DE MICRO E MINIGERAÇÃO NA GERAÇÃO DISTRIBUIDA DE ENERGIA**

**Alexandre Sheremetieff Jr\*, Giulia D. dos S. Torresia, Marina P. Cardozo e Nathália de S. Mayworm**

*Centro de Engenharia e Computação, Universidade Católica de Petrópolis, Petrópolis, 25.685-070,  
RJ, Brasil*

**Palavras-chave:** Minigeração, microgeração, geração distribuída, fontes renováveis, energia sustentável.

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo oferecer uma introdução sobre centrais de microgeração e minigeração de energia de fontes renováveis e de uso sustentável. Definidos os termos energia renovável, sustentável, alternativa e limpa, é apresentada a matriz de geração de energia elétrica e, posteriormente, a legislação vigente no Brasil relacionada ao objeto do estudo. Em seguida, são discutidos os tipos de centrais de geração de energia, suas principais características e informações relevantes. As centrais são agrupadas por suas fontes primárias de energia: sol, madeira, vento, água e a Terra. Conclui-se o texto com uma breve análise sobre as tecnologias mais avançadas e disponíveis no país, em termos técnicos e comerciais, para fins de mini e microgeração.

---

\*Endereço de e-mail: [alexandre.sheremetieff@ucp.br](mailto:alexandre.sheremetieff@ucp.br).

## **MICRO AND MINI POWER PLANTS IN DISTRIBUTED POWER GENERATION**

**Keywords:** Minigeneration, microgeneration, distributed generation, renewable resources, sustainable energy.

**Abstract.** This work aims to offer an introduction about microgeneration and minigeration of energy from renewable resources and sustainable use. Defined the terms renewable, sustainable, alternative and clean energies, it is presented the electric power generation matrix and, after, the current legislation in Brazil related to the object of the study. Next, it is discussed types of power generation plants, their main characteristics and relevant information. The power plants are grouped by their primary resources of energy: sun, wood, wind, water and Earth. The text is completed with a brief analysis of the most advanced technologies available in the country in technical and commercial terms for mini and microgeneration purposes.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Relatório do Status Global das Energias Renováveis de 2018 [26], os países desenvolvidos, emergentes e em desenvolvimento investiram em 2015, 280 bilhões de dólares em energias renováveis. Isso resultou na geração de 8,1 milhões de empregos no mundo, 918 mil no Brasil, sendo 41 mil destes em energia eólica. Esses dados mostram como o mundo vem investindo em energia renováveis e que o Brasil está acompanhando essa tendência mundial, apesar de ter investimentos bem menores que China e Estados Unidos, por exemplo.

O documento [11] traz na sua introdução a metodologia de ordenamento e classificação de categorias e fontes de energia, na qual entre outras, define energia primária, energia secundária e energia renovável. Trata-se de um documento preparado pela Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL/ONU), no âmbito do projeto com a Sociedade Alemã de Cooperação Técnica (GTZ), e em colaboração com a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo – Brasil. No documento, são definidas [11]:

- Energia primária: os recursos naturais disponíveis direta ou indiretamente que não sofrem nenhuma modificação química ou física para seu uso energético. As principais fontes normalmente considerados pelos balanços energéticos dos países da América Latina e do Caribe são: petróleo, gás natural, carvão, hidroeletricidade, lenha e outros subprodutos de lenha, biogás; geotérmica, eólica, nuclear, solar e outras primárias, como bagaço e resíduos agrícola ou urbano; e
- Energia secundária: conjunto de produtos energéticos que passaram por um processo de transformação química ou física, o que os torna mais adequados para seu uso final. Em geral, são considerados produtos secundários: óleo combustível (também chamado petróleo combustíveis ou bunker), diesel (ou gasóleo), gasolina (de diferentes octanagens, com ou sem chumbo), querosene, gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina e querosene de aviação, nafta, gás refinaria, eletricidade, carvão, gases, coque, gás de alto forno.

O documento da CEPAL [11] também pontua que a discussão conceitual sobre a "renovabilidade" e "sustentabilidade" da energia é um assunto de amplo debate. A posição adotada nesse trabalho, assim como naquele documento, considera a renovação como atributo da fonte de energia, enquanto a sustentabilidade é um atributo do uso das diferentes energias. Isso posto, considera-se fontes 100% renováveis:

- Hidroenergia (em grande e pequena escala);
- Geotérmica;
- Energia sustentável de madeira, parte da biomassa lenhosa sustentável utilizada para energização residencial, industrial, agrícola e a carvão;
- Bioenergia sustentável não relacionada à madeira, como é o caso agrocombustíveis (produtos de cana-de-açúcar e outros resíduos de biomassa) e subprodutos de origem municipal; e
- Outras tecnologias renováveis como eólicas e fotovoltaicas.

Fora da categoria de fontes renováveis, mas junto com os hidrocarbonetos, o nuclear e o carvão mineral, estaria incluída a parte insustentável da biomassa ou energia da madeira, ou seja, a parte da lenha proveniente do processo de desmatamento (expansão da fronteira agrícola, remoção de madeira ilegal) e, portanto, não sustentável [20]. Pode-se acrescentar que sustentável, nesse sentido, diz respeito a fontes que não degradam o meio ambiente, como usado na expressão “desenvolvimento sustentável”.

A energia alternativa difere da renovável e da sustentável, apesar de muitas vezes serem consideradas sinônimos [23]. A energia alternativa engloba novas opções de fontes energéticas que podem substituir as anteriormente utilizadas [25], muitas vezes denominadas de

convencionais. As novas fontes de energia não são necessariamente renováveis e limpas [28], assim como as convencionais não são necessariamente não-renováveis ou de combustíveis fósseis, ou seja, poluentes ou não sustentáveis. O petróleo e a hidrelétrica são exemplos de fontes convencionais para o Brasil. Energia eólica e solar são consideradas alternativas, pois são candidatas a substitutas das de origem fósseis e hídricas.

A energia limpa pode ser considerada sinônimo de energia sustentável. É a energia cuja obtenção agride pouco, ou nada, o meio ambiente, considerando todos os aspectos como: poluição de rios/mares e atmosfera, poluição sonora e visual, e degradação de florestas. A energia eólica e a solar são consideradas renováveis, mas também são energias limpas.

Geralmente, as energias convencionais não são energias limpas, como por exemplo a gasolina, que quando utilizada nos automóveis geram poluição do ar liberando CO<sub>2</sub>. Porém, energias alternativas como o biogás, que utiliza a biomassa, também libera gases tóxicos para a atmosfera, mas em menor quantidade e, por isso, é considerada menos prejudicial que os derivados de petróleo, por exemplo. A hidrelétrica é uma fonte de energia convencional, renovável, porém não é considerada totalmente limpa ou sustentável, dado que em certo grau degrada o solo e a vegetação acarretando diversos problemas ambientais, principalmente quando do enchimento do reservatório.

Nos últimos anos, as matrizes energéticas de vários blocos do mundo apresentaram mudanças significativas. No bloco da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico - OCDE aumentaram a produção de energia nuclear e no gás natural. No Brasil, a participação da hidráulica, bioenergia líquida (ex. etanol) e gás natural aumentaram [19].

Esse quadro sugere que os países vêm cada vez mais se preocupando com a produção de energia, seu custo e o impacto ambiental causado, a considerar, por exemplo, o estabelecimento de um prazo limite para circulação de veículos movidos a combustíveis fósseis em Paris e outras cidades europeias.

## 1.1 Matriz elétrica brasileira

Em 2017 no Brasil, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) ficou em 624,3 TW·h, o que corresponde a 53.681,6 mil tep (tonelada equivalente de petróleo) [19]. Dessa oferta, 74,55 % foram provenientes de fontes renováveis, 19,63% provenientes de fontes não renováveis e 5,82 % foi importado. O consumo total de energia alcançou um total de 260.010 mil tep. O setor industrial consumiu 33,26 % do total, o de transporte 32,51 %, e o restante do consumo foi feito pelos setores energético, de uso não-energético e outros. Esse consumo adveio das seguintes fontes: derivados de petróleo, gás natural, carvão mineral, eletricidade e bioenergia.

As fontes renováveis, em forte crescimento, representavam 85,1 % da matriz de produção de energia elétrica brasileira em outubro de 2018 (Hidráulica + Biomassa + Eólica + Solar), conforme apresenta a Figura 1.

Apesar da importância crescentes das fontes renováveis na geração de energia elétrica, em relação ao consumo final, essas fontes renováveis, incluídas as hidrelétricas, representam apenas 15,4 % das fontes de energia no Brasil.

É notável como a forma de produção de energia elétrica impacta diretamente no consumidor. Prova disso é o sistema de bandeira vermelha, amarela ou verde que altera o valor da conta de luz dos consumidores, em função do custo da produção de energia elétrica. Quando os níveis dos reservatórios de água das hidrelétricas estão baixos, o país recorre à geração de energia térmica, mais cara do que as energias hídricas.

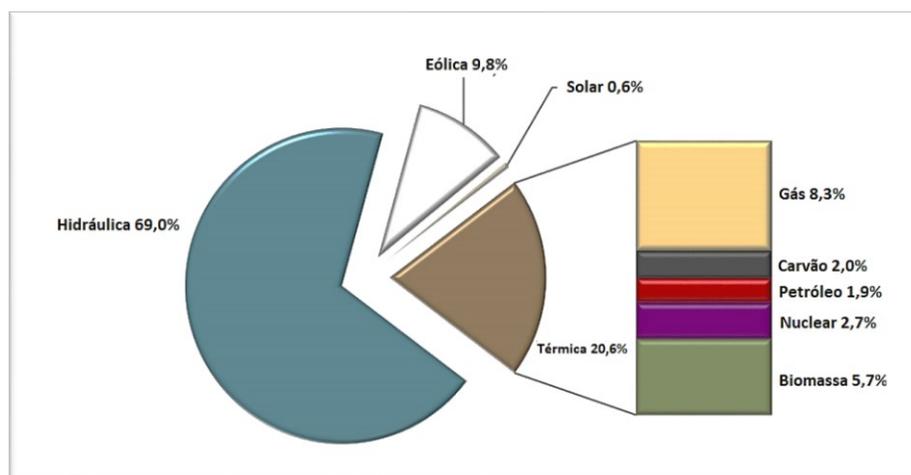


Figura 1: Matriz de Produção de Energia Elétrica [20]

A expansão líquida da capacidade instalada de geração elétrica foi de 7.159 MW (98 % de renováveis), incluídas novas usinas, revisão de potências, desativações e registros de usinas já existentes. A hidráulica ficou com 47,2 % da expansão (90 % de Belo Monte), a eólica (30,2 %), e a solar (12,7 % ou 912 MW) [20].

O aumento da participação das renováveis se dá principalmente pela produção das hidrelétricas. Porém, a solar e eólica tiveram um grande salto de desenvolvimento. Se ainda tímidas se comparadas às convencionais, a energia eólica já responde por 9,8 % da matriz de geração de energia elétrica [20].

## 2 A MICRO E A MINIGERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL

A chamada Energia Renovável Distribuída, que é a micro e minigeração de energia, também tem apresentado crescimento, se tornando uma tendência mundial, pois as tecnologias desenvolvidas permitem o acesso de comunidades isoladas à eletricidade e diminuem os grandes impactos ambientais das grandes centrais geradoras. Trata-se da descentralização da produção de energia, ou seja, realizada pela própria população para consumo local.

No Brasil, a partir da vigência da Resolução normativa 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [4], denomina-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada de até 75 kW e, minigeração distribuída, aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Cabe ressaltar que, de acordo com essa legislação vigente, a potência da central de micro e minigeração de energia a ser instalada está limitada pela potência já anteriormente aprovada, quando da ligação elétrica do consumidor à rede de distribuição para aquele local ou residência pelas companhias distribuidoras.

O Sistema de Compensação de Energia Elétrica do governo federal brasileiro permite que o consumidor instale geradores (tais como painéis solares fotovoltaicos e microturbinas eólicas, entre outros) em sua unidade consumidora e troque energia com a distribuidora local com objetivo de reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica. Esse sistema foi regulamentado pela ANEEL por meio da Resolução Normativa nº 482/2012 [3].

Um aprimoramento dessa legislação ocorreu em 2015, por meio da Resolução Normativa nº 687/2015 [4]. Segundo as novas regras, que começaram a valer em de 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, como definida pela resolução normativa nº 235/2006 [2], que estabelece os requisitos para a qualificação de

centrais termelétricas.

Ressaltam-se como principais alterações para incentivar a geração de energia pelo consumidor [6]:

- a possibilidade de acúmulo de créditos pelo consumidor: quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com os créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura nos até 60 meses seguintes. Esses créditos podem também ser usados para abater o consumo de unidades do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora, o que foi denominado autoconsumo remoto; e
- a possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Essa geração compartilhada possibilita que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma microgeração ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados. Nessa configuração, os créditos podem ser repartidos entre os associados em porcentagens definidas pelos próprios consumidores.

A ANEEL declarou, em 2015, por meio do seu portal na internet [5], que acompanharia de perto a implantação dessas e outras novas regras do Sistema de Compensação. Há previsão de que até 2024 cerca de 1,2 milhão de unidades consumidoras passem a produzir sua própria energia, totalizando 4,5 GW de potência instalada. Desde a publicação da Resolução, em 2012, até outubro de 2015, já haviam sido instaladas 1.285 centrais geradoras, sendo 1.233 (96 %) com a fonte solar fotovoltaica, 31 eólicas, 13 híbridas (solar/eólica), seis movidas a biogás, uma à biomassa e uma hidráulica.

Além disso, a lei nº 13.169/2015 [27] estabelece a isenção de PIS/COFINS para micro e minigeração para consumidores residenciais, comerciais e industriais que produzam sua própria energia e nos termos das resoluções 482/2012 e 687/2015.

Em nível municipal, o IPTU (Imposto Predial Territorial Urbano), que é um tributo municipal anual que incide sobre propriedades imobiliárias residenciais, comerciais e industriais, se transformou em IPTU Verde por meio de um desconto percentual dado ao consumidor sobre o seu valor, quando o mesmo adota e faz uso de medidas e soluções sustentáveis em sua propriedade, visando a preservação, proteção ou recuperação do meio ambiente.

O IPTU Verde se caracteriza pela adoção de medidas e tecnologias de sustentabilidade, como as alternativas para geração de energia (aquecimento solar, energia solar, com painéis fotovoltaicos e energia eólica), reuso da água, telhados verdes, conservação de áreas arborizadas, entre outras.

Essa iniciativa já é realidade em várias cidades do país [13], como Tietê (SP) que concede até 100 % de desconto, Campos do Jordão (SP) até 90 %, Colatina (ES) até 50 %, Goiânia (GO) até 40 %, Seropédica (RJ) até 15 %, entre outras.

Existe, portanto, um ambiente favorável para instalações de centrais de microgeração e minigeração para geração distribuída de energia, pelos consumidores brasileiros. No próximo capítulo, pretende-se apresentar quais seriam as opções para geração de energia, em particular a microgeração, disponíveis aos consumidores, entre as mais difundidas, como a eólica e solar, e as menos conhecidas, como o vortex.

### **3 CENTRAIS DE MICRO E MINIGERAÇÃO DE ENERGIA**

As centrais de micro e minigeração de energia aqui destacadas estão relacionadas a fontes renováveis e de uso sustentável. Elas foram agrupadas de acordo com as seguintes fontes primárias: sol, madeira, vento, água e a Terra.

### 3.1 O sol como fonte de energia

Energia solar é um termo que se refere à energia proveniente da luz e do calor do Sol. Existem diferentes meios e tecnologias para utilização dessa fonte:

- Energia solar fotovoltaica: a energia luminosa é convertida diretamente em energia elétrica;
- Energia heliotérmica: a produção de eletricidade acontece em dois passos: primeiro, os raios solares concentrados aquecem um receptor e, depois, este calor (450 °C - 1000 °C) é usado para iniciar o processo convencional da geração termoeletrica, por meio da movimentação de uma turbina com o vapor d'água;
- Fotossíntese artificial: com um tipo de pigmento artificial chamado porfirina, que quando mergulhada em água e exposta à luz, produz hidrogênio e oxigênio, que são armazenados em tanques e depois transformados em eletricidade e água;
- Aquecimento solar: a luz do Sol é utilizada para aquecer a água de casas e prédios ( $\approx 80$  °C), sem objetivo de geração de energia elétrica; e
- Arquitetura solar passiva: combina orientação, forma, aberturas que tenham a resposta térmica adequada e que permitam obter o máximo benefício do sombreamento nas estações quentes e insolação nas estações frias.

Para o propósito desse trabalho, apenas as três primeiras podem ser consideradas como tecnologias adequadas a centrais de geração de energia distribuída.

#### 3.1.1 Central de geração fotovoltaica

A Energia fotovoltaica consiste na captação e armazenamento de energia oriunda da luz do sol. A energia captada pelos painéis solares é convertida em energia elétrica e armazenada em baterias. Em geral, este sistema é ideal para regiões onde há boa insolação na maior parte do ano. É uma fonte alternativa de energia limpa e renovável que vêm recebendo bastante atenção ultimamente, devido à possibilidade de se revender o excesso de energia produzida à rede elétrica convencional.

Um sistema fotovoltaico possui, dependendo da fonte, quatro ou cinco componentes básicos [1, 7]:

- Painéis solares ou módulos fotovoltaicos: transformam energia solar em eletricidade. Os painéis são compostos por células fotovoltaicas de silício (Si), semicondutoras. A concepção mais comum utiliza dois tipos diferentes de silício, para criar cargas. Para a negativa ele é combinado com o boro, e a positiva é combinado com o fósforo. E a junção dessas combinações permite a reação com a luz solar. Quando as partículas da luz solar (fótons) colidem com os átomos desses materiais, provocam o deslocamento dos elétrons e geram uma corrente elétrica. A intensidade da corrente elétrica gerada variará na mesma proporção que a intensidade da luz incidente;
- Inversores: transformam os 12V de corrente contínua das baterias em 110 ou 220V de corrente alternada, ou outra tensão desejada. No caso de sistemas conectados, também são responsáveis pela sincronia com a rede elétrica;
- Medidor bidirecional: instrumento medidor e registrador tanto da energia elétrica consumida, quanto da injetada na rede, instalado para o faturamento no ponto de medição;
- Baterias: armazenam a energia elétrica para que o sistema possa ser utilizado quando não há sol. Em um sistema isolado, há necessidade do uso de baterias e controladores de carga. E em sistemas conectados à rede, necessitam somente de painéis e inversores, já que não precisam armazenar energia; e

- Controladores de carga: evitam sobrecargas ou descargas exageradas na bateria, aumentando sua vida útil e desempenho.

Entre as vantagens da energia solar fotovoltaica, pode-se citar [25, 29]:

- energia abundante e totalmente renovável: o nível de irradiação solar do Brasil é um dos maiores do mundo. A energia é confiável, de uma fonte inesgotável e gratuita;
- sustentabilidade: energia de baixíssimo impacto, limpa e não contaminante. Os painéis fotovoltaicos não produzem nenhum tipo de poluição (nem mesmo sonora) e resíduo durante seu funcionamento;
- manutenção: não existem peças móveis em um painel fotovoltaico, ou seja, quase não há desgaste mecânico. Praticamente, o sistema fotovoltaico não necessita de manutenção. A vida útil dos painéis é superior a 30 anos apenas com uma limpeza anual;
- investimento: seguro, rentável, garantido pela previsibilidade do recurso solar e longa vida útil do sistema, além de valorizar os imóveis e negócios e ter a preocupação com a eficiência energética. Exemplos de investimento inicial: uma casa pequena com até 2 pessoas, o sistema teria um custo de 15 a 20 mil reais (1.5 kW<sub>p</sub>); uma casa média, 4 pessoas, entre 25 e 32 mil reais (3 kW<sub>p</sub>); uma casa grande, 5 pessoas, 36 mil e quinhentos a 46 mil e quinhentos reais (5 kW<sub>p</sub>) [22]. A unidade W<sub>p</sub>, Watt-pico, é a unidade de potência energética normalmente associada a placas fotovoltaicas. Como exemplo, um conjunto com treze placas fotovoltaicas de 3,51 kW<sub>p</sub> tem a capacidade de gerar, instalada em região com boa insolação, até 485 kW·h/mês; e
- incentivos: a energia gerada em excesso vai para a rede de energia da distribuidora e gera um crédito de energia. Quem produz eletricidade a partir do sol pode gerar créditos de carbono, certificações e selos verde.

O Relatório sobre Diagnóstico do Setor Solar Fotovoltaico no Brasil [21] aponta ações para adoção da geração distribuída solar fotovoltaica em programas governamentais, com estabelecimento de metas anuais, considerando margens de preferência ou cotas mínimas para produtos fabricados no Brasil. Atualmente, existem ações realizadas dentro do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), Programa Luz para Todos (LpT), Eletrificação de comunidades tradicionais e isoladas, Programas na Agricultura, Edificações de ensino, saúde, segurança pública, iluminação pública, saneamento, entre outras. Outra ação é o reinvestimento dos incentivos da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) para a tarifa social de energia elétrica, em projetos de geração distribuída solar fotovoltaica, visando a redução gradual e sustentável dos dispêndios da CDE.

### 3.1.2 Central de geração heliotérmica

Energia heliotérmica ou energia solar térmica concentrada é uma tecnologia de geração de energia elétrica renovável que transforma irradiação solar direta em energia térmica, depois em energia mecânica e, conseqüentemente, em energia elétrica. Se assemelha muito com uma usina termoeletrica. A diferença é que, nas termoeletricas, utiliza-se carvão ou gás como combustível, ou seja, fontes não renováveis.

Esse mecanismo utiliza espelhos, coletores ou heliostatos, que acompanham a posição do sol durante o dia, para refletir sua luz e a concentrar em um único ponto. Um receptor é acoplado a esse ponto, onde existe um fluido térmico composto por óleos térmicos, água, ar ou sais fundidos. O calor acumulado, podendo atingir temperaturas acima de 1000 °C, aquece esse fluido, que, por transferência de calor, aquece a água, transformando-a em vapor. Este movimentam as turbinas que acionam um gerador, produzindo energia elétrica.

Existem usinas heliotérmicas de vários tipos, que se diferem pela forma dos espelhos e pelos mecanismos de concentração solar: Calha Cilindro Parabólico; Linear Fresnel; Torre Solar; e

## Disco Parabólico.

As vantagens da central de geração heliotérmica são [17]:

- incidência solar: a implantação de usinas heliotérmicas tem como cenário ideal regiões com baixa presença de nuvens, altos níveis de radiação solar e terrenos planos, tornando o Brasil um país de rico potencial, principalmente na região Nordeste e em parte das regiões Centro-Oeste e Sudeste;
- armazenamento: para garantir um funcionamento mais flexível e confiável da usina heliotérmica, é possível incluir um armazenamento térmico ou uma cocombustão de combustíveis reservas no ciclo de potência. Assim, mesmo quando não há incidência direta do Sol, em dias nublados ou durante a noite, por exemplo, parte da energia pode ser estocada em depósitos térmicos à parte, e acionada sempre que necessário e houver demanda, ajudando a equilibrar a produção elétrica. Com isso, há a possibilidade de utilização da tecnologia heliotérmica de forma conjunta com outros combustíveis, como a biomassa, o gás natural ou o carvão, em sistemas híbridos, o que garantiria a produção a qualquer momento;
- flexibilidade: pode ser utilizada também em processos não elétricos, como a produção de calor para processos industriais, dessalinização da água do mar e refrigeração;
- investimento: apesar dos altos investimentos iniciais para instalação da tecnologia de captação necessária, a energia proveniente das usinas heliotérmicas é considerada uma energia bastante lucrativa e rentável, pois sua vida útil é de longo prazo, seus custos de operação são mínimos, e seu processo de produção é seguro, uma vez que a usina não apresenta riscos de panes, explosões ou vazamentos; e
- impacto ambiental: a energia heliotérmica não utiliza extração, transporte ou queima de combustíveis fósseis, não emite gases poluentes e do efeito estufa, os arredores da usina ficam livres de poluição do ar e do solo, pois a usina não gera nenhum lixo sólido, como bagaço de carvão vegetal ou substâncias nucleares. Os arredores da usina, na maioria das vezes, áreas secas e pouco férteis, são preservados na sua condição natural e até a terra onde é instalada a usina sofre pouco impacto. Assim, pode ser admitida como fonte de baixo impacto ambiental.

### 3.1.3 Central de geração por fotossíntese artificial

São várias as técnicas em desenvolvimento no campo da fotossíntese artificial, que buscam uma forma de usar a energia solar para quebrar moléculas de água e produzir hidrogênio. [14, 15].

O hidrogênio é uma fonte de energia interessante porque tanto pode ser utilizado diretamente nas usinas térmicas, sendo queimado para produzir eletricidade ou vapor, como em células combustíveis, produzindo eletricidade sem a emissão de qualquer poluente. Porém, produzi-lo de forma limpa tem sido um grande desafio, pois hoje o hidrogênio é produzido a partir do gás natural, derivado de combustíveis fósseis.

As plantas convertem diariamente água e luz solar em fonte de energia há bilhões de anos, por meio da fotossíntese. Pensando nisso, em 2014, a pesquisa do químico brasileiro, Jackson Megiatto, em conjunto com pesquisadores das universidades da Pensilvânia e do Arizona, nos Estados Unidos, resultou no desenvolvimento de materiais que reproduziram artificialmente a reação de quebra de moléculas de água promovida por energia solar, o modo de produção de energia das plantas [15].

O grande desafio foi criar materiais que fossem capazes de transformar luz do sol em energia química, e o resultado foi obtido através da síntese em laboratório de pigmentos chamados de perfluoro porfirina, cujas propriedades são semelhantes às da clorofila, o pigmento verde

naturalmente encontrado nas plantas.

O aparelho consistia em um recipiente de água no qual se mergulhavam chapas metálicas ou semicondutores, eletrodos, revestidos do material sintetizado. Quando excitada pela luz solar, a porfirina se liga ao fenol e funciona de maneira similar à fotossíntese natural. Quando a porfirina é energizada pela luz solar, ela rouba elétrons do fenol. Este, com menos elétrons, tem energia suficiente para decompor as moléculas de água e, com a ajuda de catalizadores, o sistema produz hidrogênio e oxigênio. Os gases são armazenados e usados em outro aparelho, a célula combustível, que transforma os gases novamente em água, liberando a energia solar armazenada na forma de eletricidade. A água gerada é então reutilizada no sistema.

O que fizeram foi um protótipo que provava ser possível reproduzir um processo semelhante à fotossíntese em laboratório. Propuseram um ciclo energético renovável, que consome luz solar para gerar combustível usando água como reagente. Uma energia sem poluição. E o próximo passo será melhorar sua eficiência, aperfeiçoar o processo, tanto em quantidade, quanto em durabilidade, que são ainda baixas para aplicações comerciais. Os esforços serão para tentar simplificar a síntese dos materiais desenvolvidos para o experimento até que se tornem mais baratos e eficientes. Para no futuro, haja a inclusão da água e da luz solar entre as fontes de energia limpa disponíveis para o ser humano.

### **3.2 A madeira como fonte de energia**

Essa energia se refere àquela proveniente dos resíduos orgânicos enquanto gerador de compostos químicos formados por cadeias de carbono, hidrocarbonetos. Na literatura, o termo mais comum é biomassa. No conceito de biomassa para a geração de energia excluem-se os tradicionais combustíveis fósseis, mesmo sendo derivados da vida vegetal (carvão) ou mineral (petróleo e gás natural), pois são resultado de várias transformações que requerem milhões de anos para acontecerem e se renovarem. Já a biomassa é um recurso natural renovável a curto prazo.

#### **3.2.1 Central de geração com biomassa**

Energia gerada por meio da decomposição de materiais orgânicos. Para fazê-la são utilizados materiais como biomassa arborícola, sobra de serragem, vegetais e frutas, bagaço de cana, alguns tipos de esgotos, esterco, entre outros. São transformados em energia por meio dos processos de combustão, gaseificação, fermentação ou na produção de substâncias líquidas.

Existem diferentes meios e tecnologias usadas para transformar a biomassa em energia. Os processos utilizados são os termoquímicos, os físico-químicos e os bioquímicos [1, 9, 12].

Os processos termoquímicos podem englobar:

- Pirólise - ou carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível. O processo consiste em aquecer o material original (normalmente entre 300 °C e 500 °C), na “quase-ausência” de ar, até que o material volátil seja retirado. O principal produto final é carvão vegetal, que tem uma densidade energética duas vezes maior que aquela do material de origem e sua queima pode ocorrer em temperaturas muito mais elevadas. Além de gás combustível, a pirólise produz alcatrão e ácido pirolenhoso;
- Gasificação: um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores ao mínimo para a combustão. Há vários tipos de gaseificadores, com grandes diferenças de temperatura e/ou pressão. O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam

de acordo com as condições do processo, particularmente se é ar ou oxigênio que está sendo usado na oxidação;

- Combustão: é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cozimento de alimentos), fornos (metalurgia, por exemplo) e caldeiras (geração de vapor, por exemplo). Embora muito prático e, às vezes, conveniente, o processo de combustão é normalmente muito ineficiente. Outro problema da combustão direta é a alta umidade (20 % ou mais no caso da lenha) e a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos etc.), o que dificulta o seu armazenamento e transporte; e
- Co-combustão: propõe a substituição de parte do carvão mineral utilizado em usinas termoelétricas por biomassa. Dessa forma, reduz-se significativamente a emissão de poluentes. A faixa de desempenho da biomassa encontra-se entre 30 % e 37 %, sendo por isso uma escolha bem atrativa e econômica atualmente.

Os processos físico-químicos compreendem:

- Processo de conversão físico-químico da biomassa, em especial de vegetais oleaginosos: consiste em um processo de prensagem ou compressão, seguido pela extração de óleos vegetais, para posterior modificação química em procedimentos chamados esterificação e transesterificação;
- Processo esterificação: é uma reação química onde os óleos vegetais ou gordura animal, reagem com um álcool na presença de um catalisador, geralmente um ácido tendo como produto final um biodiesel; e
- Processo de transesterificação: é o nome do processo através do qual ocorre a separação da glicerina do óleo vegetal. Cerca de 20 % de uma molécula de óleo vegetal é formada por glicerina. A glicerina torna o óleo mais denso e viscoso. Durante o processo de transesterificação, a glicerina é removida do óleo vegetal, deixando o óleo mais fino e reduzindo sua viscosidade. Para posteriormente se produzir biodiesel, os ésteres no óleo vegetal são separados da glicerina. Os ésteres são a base do biodiesel. Durante o processo, a glicerina é substituída pelo álcool, proveniente do etanol ou metanol.

Por fim, os processos bioquímicos podem ser:

- Processo digestão anaeróbica: assim como a pirólise, ocorre na ausência de ar, mas nesse caso, o processo consiste na decomposição do material pela ação de bactérias, microrganismos acidogênicos e metanogênicos. Trata-se de um processo simples, que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos. O tratamento e o aproveitamento energético de dejetos orgânicos (esterco animal, resíduos industriais, etc.) podem ser feitos pela digestão anaeróbia em biodigestores, onde o processo é favorecido pela umidade e aquecimento. O aquecimento é provocado pela própria ação das bactérias, mas em regiões ou épocas de frio, pode ser necessário calor adicional, visto que a temperatura deve ser de pelo menos 35 °C;
- Processo fermentação: é um processo biológico anaeróbio em que os açúcares de plantas como a batata, o milho, a beterraba e, principalmente, a cana de açúcar são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras). Em termos energéticos, o produto final, o álcool, é composto por etanol e, em menor proporção, metanol, e pode ser usado como combustível (puro ou adicionado à gasolina – cerca de 20 %) em motores de combustão interna; e
- Processo hidrólise: é a quebra da biomassa lignocelulósica, que é composta por polissacarídeos em açúcares menores para eventual fermentação e produção de etanol. Os processos de conversão do material lignocelulósico em etanol são diferenciados

principalmente quanto aos métodos de hidrólise e fermentação, estágios esses que estão menos amadurecidos tecnologicamente. Os processos de hidrólise podem ser divididos em duas categorias: aqueles que usam os ácidos minerais (diluído ou concentrado), como por exemplo, o ácido sulfúrico; e os que usam enzimas. Comparativamente, a hidrólise com ácido diluído se encontra em um estágio mais avançado que as demais, mas com altos limites de rendimento, de 50 % a 70 %. A hidrólise com ácido concentrado apresenta rendimentos maiores e menores problemas com a produção de inibidores, só que a necessidade de recuperação do ácido e de equipamentos resistentes à corrosão compromete o desempenho econômico do processo. Já a hidrólise enzimática apresenta altos rendimentos, de 75 % a 85 %, e grandes melhorias ainda são esperadas chegando-se a valores entre 85 % e 95%. Além disso, a não utilização de ácidos pode representar uma grande vantagem econômica, exigindo equipamentos com materiais mais baratos e menor custo operacional e ambiental, pois não há produção de resíduos.

Os derivados desses processos são:

- Bio-óleo: líquido negro obtido por meio do processo de pirólise cujas destinações principais são aquecimento e geração de energia elétrica;
- Biomassa para líquido: líquido obtido em duas etapas. Primeiro é realizado um processo de gasificação, cujo produto é submetido ao processo de Fischer-Tropsch. Pode ser empregado na composição de lubrificantes e combustíveis líquidos para utilização em motores do ciclo diesel;
- Etanol Celulósico: etanol obtido alternativamente por dois processos. Em um deles a biomassa, especificamente celulose, é submetida ao processo de hidrólise enzimática, utilizando uma enzima denominada celulase. O outro processo é composto pela execução sucessiva das três seguintes fases: gaseificação, fermentação e destilação;
- Bioetanol: feito no Brasil à base do sumo extraído da cana de açúcar. Há países que empregam milho (Estados Unidos) e beterraba (França) para a sua produção. O sistema à base de cana-de-açúcar empregado no Brasil é mais viável do que o utilizado pelo americano e francês;
- Biodiesel: feito do dendê, da mamona e da soja; e
- Biogás: uma das formas de aproveitamento da biomassa, é uma fonte barata e abundante. O gás metano obtido juntamente com dióxido de carbono é produzido a partir da decomposição de resíduos biodegradáveis em digestores de biomassa que são transformados em energia. Esses resíduos podem ser resíduos de pecuária como o esterco, resíduos de agroindústrias como a indústria do café e até mesmo lodos das estações de tratamento de água. Ele também pode ser extraído de aterros sanitários controlados, que já produzem esse gás naturalmente.

O biogás é o derivado de biomassa que melhor se adequa à ideia de central de microgeração. O biogás pode ser usado em substituição a gases de origem mineral como, por exemplo, o GLP (conhecido popularmente como gás de cozinha) e o gás natural. Na geração de eletricidade, ocorre a conversão da energia química do gás em energia mecânica por meio de um processo controlado de combustão; essa energia mecânica ativa um gerador que produz energia elétrica. Apensar de ser um gás considerado pobre em eficiência energética, ele é considerado uma fonte de energia mais limpa que os gases derivados de petróleo, e tem a vantagem de poder ser produzido em comunidades rurais.

O Projeto de Lei PL 6559/2013 [30] objetiva o incentivo da produção de biogás por meio da isenção tributária, regulamentação e fiscalização. Caso o projeto seja aprovado, poderão produzir biogás produtores rurais, cooperativas agroindustriais, indústrias, empresa ou consórcio de empresas constituídas sob as leis brasileiras, com sede e administração no País.

O biodigestor deve ser construído de acordo com cada tipo de resíduo e finalidade de uso. Hoje existem várias tecnologias para construção dos digestores. Normas como a NBR 13591:1996 sobre compostagem [8] podem ser utilizadas na construção do biodigestor e produção do biogás.

As vantagens da utilização do biogás são [24]:

- recurso renovável;
- baixo custo de aquisição;
- não emissão de dióxido de enxofre;
- as cinzas são menos agressivas ao meio ambiente que as provenientes de combustíveis fósseis (petróleo);
- menor corrosão dos equipamentos (caldeiras, fornos);
- menor risco ambiental;
- reaproveitamento de resíduos e lixos, diminuindo a quantidade de dejetos nos aterros, amenizando um problema sanitário; e
- sua queima libera dióxido de carbono na atmosfera, mas como o composto é absorvido pela matéria orgânica, as plantas que deram origem ao combustível, o balanço de emissões de CO<sub>2</sub> é quase nulo.

As desvantagens são:

- desmatamento de florestas, além da destruição de habitats. Cita-se, porém, que a madeira advinda de reflorestamento manejado é considerada como energia renovável;
- menor poder calorífico comparado a outros combustíveis;
- maior possibilidade de geração de material particulado para a atmosfera;
- dificuldades no estoque, armazenamento e transporte; e
- os biocombustíveis líquidos contribuem para a formação de chuvas ácidas.

### 3.3 O vento como fonte de energia

Essa energia se refere à energia proveniente do deslocamento do ar da atmosfera causado por regiões de diferentes temperaturas e pressões, normalmente denominada de energia eólica. Historicamente encontra seus primórdios nos moinhos de vento, comuns nas regiões litorâneas, com a finalidade de acionamento das moendas de grãos.

#### 3.3.1 Central de geração eólica

Energia eólica é a “energia do vento” que pode ser transformada em energia útil, geralmente através de torres de geração de energia eólica, que transformam essa energia em energia elétrica. Em outubro de 2018, a geração de energia pela força do vento representava 9,8 % de toda a energia renovável produzida no Brasil.

De acordo com [18], a geração de energia eólica se inicia com o aquecimento, pelo sol, das camadas de ar, o que gera vento, ou seja, energia cinética. Essa energia cinética move as pás da torre eólica, gerando energia mecânica que, através de um gerador, se transforma em energia elétrica.

Os componentes básicos de um gerador de energia eólica são: Anemômetro, cuja função é medir a intensidade e velocidade do vento; Nacele, compartimento que comporta a caixa de multiplicação, que tem como função transmitir a energia mecânica do eixo do rotor ao eixo do gerador; Rotor, conjunto localizado na ponta da nacele, responsável por transmitir a rotação das pás para o gerador; e, por fim, as pás, o gerador e a torre, que sustenta todo o conjunto.

Com a nova regulação da ANEEL, a geração descentralizada de energia com micro e minigeradores eólicos tornou-se viável economicamente. Um sistema eólico gera energia por

pelo menos 20 anos. Ao consumir a energia gerada em sua propriedade, as perdas ocorridas na transmissão e distribuição são eliminadas.

Micro e minigeradores eólicos são sistemas de geração elétrica a partir da força dos ventos com potência suficiente para produzir eletricidade. Todos os micros e minigeradores eólicos possuem um rotor, que pode ser composto de duas, três ou mais pás. Ele é o responsável por capturar e transmitir a força mecânica dos ventos para o gerador propriamente dito.

As principais tecnologias de aerogeradores de pequeno porte são com eixo horizontal ou vertical. As de eixo horizontal geralmente possuem eficiência maior e são mais comuns no mercado. Porém, sistemas eólicos com eixo vertical têm a vantagem de serem menos barulhentos e de integrarem-se melhor com as edificações.

O terreno e o entorno onde o sistema será instalado devem ser analisados, pois é importante manter distâncias mínimas entre o gerador eólico e eventuais obstáculos. Uma regra geral é que o microgerador seja instalado a uma altura de pelo menos 10 metros a mais que o obstáculo mais alto dentro de um raio de 150 metros para que a velocidade dos ventos não seja afetada. Assim, há a necessidade de verificação de licenças municipais para instalação.

As desvantagens de sistemas de geradores eólicos são os ruídos. Dependendo das velocidades do vento ou instalação em superfícies prediais, pois o próprio prédio pode atuar como caixa de ressonância e emitir ruídos também. Além das pás do aerogerador que podem fazer sombras ou mesmo reflexos na vizinhança.

### 3.3.2 Central de geração termoeólica

É um sistema híbrido que usa a energia fotovoltaica e a energia eólica em um mesmo dispositivo. As placas ficam na base e em cima ficam as pás das hélices da eólica [16].

## 3.4 A Água como fonte de energia

Essa energia se refere àquela proveniente do armazenamento da água em reservatórios e o aproveitamento do fluxo controlado gerando energia elétrica pela transformação da energia mecânica. Existem diferentes meios e tecnologias voltadas para a mini e a microgeração de energia com o uso de recursos hídricos: vortex, roda d'água, marés etc.

### 3.4.1 Central de geração vortex (Miniusina hidrelétrica)

Modelo de microusina, baseado no vórtice gravitacional, aproveita a energia cinética e potencial da água para gerar energia mecânica que gera energia elétrica de forma sustentável, com um mínimo impacto ambiental, renovável e baixo custo.

A água passa através de uma grande entrada em linha reta, e em seguida, passa tangencialmente em uma grande bacia redonda, onde a saída da água se encontra no seu centro, formando um vórtice poderoso [10]. Esse movimento rotativo, em contato com a turbina (turbina de redemoinho) elétrica, se transfere à um gerador que transforma a energia mecânica das turbinas em eletricidade.

Esse modelo pode ser instalado em rios, riachos e canais. Sua instalação é simples, sendo cavado um fosso ao lado do curso d'água, na qual recebe um revestimento de concreto, com um gerador e impulsor ao fundo. Quando as comportas são abertas, a água é liberada fazendo a turbina funcionar ininterruptamente. As turbinas são resistentes a pequenas pedras e exige pouca manutenção, podendo ter uma vida útil de 100 anos. A velocidade nominal das turbinas é baixa, variando de 15 a 40 rpm e a energia gerada varia em 0,2 a 40 kW. Originalmente, esta aplicação foi usada para purificar a água através do vórtice, mas o sistema foi adaptado para gerar energia.

### 3.4.2 Central de geração com roda d'água

Roda d'água é um sistema em que uma roda em um eixo, com pás nas extremidades, que é movida pelo fluxo de um rio ou riacho aproveitando a energia hidráulica para gerar energia mecânica. Trata-se de uma forma milenar de aproveitamento energético. Pode ser usado para irrigação como antigamente, mas também para produzir energia elétrica acoplando uma bomba ou um gerador.

### 3.4.3 Central de geração com fluxo d'água encanada

O fluxo da água dentro de canos é usado para girar turbinas que geram a energia. O princípio de funcionamento, respeitada as devidas proporções, é semelhante a grandes hidrelétricas. A desvantagem dessa tecnologia é a descontinuidade do fluxo em instalações residenciais, somada à perda de carga provocada pela adição de uma mini turbina à tubulação.

### 3.4.4 Central de geração com marés e ondas

Os oceanos abrigam uma enorme quantidade de energia térmica e mecânica. Segundo [16], a energia térmica é proveniente da massa e da temperatura dos oceanos, já que os oceanos são coletores térmicos muito grandes, e a energia mecânica vem das ondas e das ações das marés. O aproveitamento do aquecimento da camada superficial da água é chamado de conversão de energia térmica dos oceanos (CETO).

A energia das marés utiliza a subida, quando um reservatório é carregado e a descida das marés, quando este reservatório é descarregado, para gerar eletricidade indiretamente.

A energia das ondas é obtida pelo movimento das ondas do mar que são provocadas pelo vento. Como ocorre com outros recursos alternativos de energia, a quantidade de energia disponível é enorme, mas as técnicas e tecnologias para extração dessa energia ainda se encontram em desenvolvimento e não fazem parte do rol das centrais de geração disponíveis a consumidores finais de energia.

## 3.5 A Terra como fonte de energia

Essa energia se refere à energia proveniente do interior do planeta e normalmente é denominada de geotérmica. Em [16], é destacado que, tradicionalmente, a energia geotérmica tem sido encarada como a captação de energia cujas fontes residem nas profundezas da Terra.

A estrutura geológica da Terra apresenta no centro um núcleo interno fundido, circundado por um núcleo externo. Um manto interno envolve o núcleo externo. A litosfera é uma crosta fina e rígida que serve como um manto mais externo. As linhas de falha onde as placas se encontram produzem atividade sísmica e vulcânica. Grande parte da energia geotérmica é inacessível devido as suas grandes profundidades, mas ao longo dos limites das placas a atividade geotérmica é suficientemente próxima da superfície para ser acessível [16].

Os recursos geotérmicos classificam-se por suas características térmicas e de composição, da seguinte forma: Hidrotérmicos ou geoidrotérmicos; Geopressurizados; Magma; e Sistemas geotérmicos aprimorados (ou rocha quente e seca).

Tendo em vista praticamente a inexistência de pontos de acesso no Brasil à atividade Geotérmica, uma vez que o país se encontra sobre a placa sul-americana, distante dos seus bordos, a quantidade de acessos reduz-se praticamente às fontes termais de Caldas Novas no estado de Goiás.

Outra opção são as bombas de calor no solo (GSHP) ou bombas de calor geotérmicas que utilizam o solo para a rejeição do calor no verão e como fonte de calor no inverno. Essa tecnologia está voltada para conforto térmico ambiental e, por isso, é apenas citada.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho, propôs-se apresentar quais seriam as opções para geração de energia, em particular a microgeração, disponíveis aos consumidores. O relato apresentado permite realizar algumas considerações. Das centrais de geração de energia de fontes renováveis apresentadas as centrais de geração fotovoltaica, a de geração com biomassa e a eólica, responsáveis, em 2018, por 0,6 %, 5,7 % e 9,8 %, respectivamente, da geração de energia elétrica no Brasil se mostram consolidadas pela existência de legislação em vários níveis governamentais, pela ampla divulgação técnica sobre suas implantações e um vasta rede de fornecedores comerciais de equipamentos.

Também as centrais de geração vortex (miniusina hidrelétrica) e de geração com roda d'água encontram sua demanda principalmente no meio rural com uma rede consolidada de fornecedores comerciais de equipamentos.

As centrais de geração heliotérmica e de geração com marés e ondas se encontram ainda em fase de desenvolvimento, demandando investimentos de pesquisa e implantação afetos a órgãos do governo ou grandes companhias. Poderia se dizer que é uma tecnologia que ainda não se encontra disponível para os pequenos consumidores que desejam instalar a sua microgeradora de energia.

Já as centrais de geração termoeólica, de geração por fotossíntese artificial e de geração com fluxo d'água encanada encontram-se ainda em fase embrionária, demandando pesquisas de tecnologias e, principalmente, viabilidade econômica.

Além dos incentivos intrínsecos de economia na conta de energia, obtenção de créditos para descontos futuros, facilidades de instalação do local e da associação na implantação das centrais de geração constantes nas resoluções normativas citadas, existem outros incentivos, em outras instâncias de governo. A lei nº13.169/2015 estabeleceu a isenção de PIS/COFINS para micro e minigeração para consumidores residenciais, comerciais e industriais que produzam sua própria energia e nos termos das resoluções da ANEEL. E também há o IPTU Verde, que é um incentivo aos proprietários de imóveis ao investimento em práticas de sustentabilidade como reuso da água, telhados verdes, conservação de áreas arborizadas, aquecimento solar, energia solar com painéis fotovoltaicos e energia eólica, além de, construções com materiais recicláveis e separação de resíduos sólidos.

Diante do exposto, parece existir de fato um ambiente favorável para os consumidores instalarem centrais de microgeração e minigeração para geração distribuída de energia. A impressão é que que todos ainda terão uma mini ou micro central de geração de energia de algum tipo.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). *Atlas de Energia Elétrica, cap.3 – Energia Solar*. 2ª edição, 2005. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acessado em outubro de 2018.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa nº 235, de 14 de novembro de 2006. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>>. Acessado em setembro de 2018.
- [3] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acessado em setembro de 2018.

- [4] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acessado em setembro de 2018.
- [5] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Últimas notícias, publicadas em 24/11/2015. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=8955&id\\_area=90](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8955&id_area=90)>. Acessado em setembro de 2018.
- [6] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Perguntas e Respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012 – atualizado em 25/05/2017. Disponível em <[http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/FAQ+-V3\\_20170524/ab9ec474-7dfd-c98c-6753-267852784d86](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/FAQ+-V3_20170524/ab9ec474-7dfd-c98c-6753-267852784d86)>. Acessado em setembro de 2018.
- [7] America do Sol. *Guia de Microgeradores Fotovoltaicos*. Instituto Ideal. Disponível em <<https://americadosol.org/guiaFV>>. Acessado em outubro de 2018.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 13591/1996 – Compostagem - Terminologia*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1996.
- [9] B. M. Cardoso. *Uso da Biomassa como Alternativa Energética*. Monografia de conclusão de curso de bacharelado, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2012. Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005044.pdf>>. Acessado em setembro de 2018.
- [10] Ciclovivo. *Micro usina hidrelétrica usa redemoinho para gerar energia limpa*. Disponível em <<https://ciclovivo.com.br/inovacao/tecnologia/micro-usina-hidreletrica-usa-redemoinho-para-gerar-energia-limpa/>>. Acessado em novembro de 2018.
- [11] Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL). *Sostenibilidad energética en américa latina y el caribe: el aporte de las fuentes renovables*. Organização das Nações Unidas, 2003. Disponível em <[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2764/1/S2003717\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2764/1/S2003717_es.pdf)>. Acessado em setembro de 2018.
- [12] Empresa de Pesquisa Energética (EPE). *Plano Nacional de Energia 2030. Combustível Líquido*. Brasília: Ministério de Minas e Energia do Brasil, 2007. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Combust%C3%ADveis%20L%C3%ADquidos.pdf>>. Acessado em setembro de 2018.
- [13] R. Fontes. *Casas Sustentáveis e o Desconto do IPTU Verde: Sistemas Fotovoltaicos Também Já Participam do Benefício*. Blue Sol Energia Solar. Disponível em <<https://blog.bluesol.com.br/iptu-verde-e-energia-solar/>>. Acessado em agosto de 2018.
- [14] M. Guimarães. *Fotossíntese Artificial*. Revista Pesquisa Fapesp, 2014. Disponível em <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2014/03/10/fotossintese-artificial-2/>>. Acessado em outubro de 2018.
- [15] M. Guimarães. *Lição que vem da natureza*. Jornal UNICAMP, 2014. Disponível em <[http://www.unicamp.br/unicamp/sites/default/files/jornal/paginas/ju\\_600\\_paginacor\\_03\\_web.pdf](http://www.unicamp.br/unicamp/sites/default/files/jornal/paginas/ju_600_paginacor_03_web.pdf)>. Acessado em outubro de 2018.
- [16] B. K. Hodge. *Sistemas e aplicações de energia alternativa*. Traduzido por L. C. de Q. Faria. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- [17] Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). *Energia heliotérmica*. Disponível em <<http://energiaheliotermica.gov.br>>. Acessado em outubro de 2018.

- [18] Instituto Ideal – Instituto para Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina. *Guia de Microgeradores Eólicos*. Disponível em <<http://institutoideal.org/guiaeolica/>>. Acessado em setembro de 2018.
- [19] Ministério de Minas e Energia do Brasil. *Resenha Energética Brasileira 2018 (Ano base 2017)*. Disponível em <<http://www.eletronuclear.gov.br/Imprensa-e-midias/Documents/Resenha%20Energ%C3%A9tica%202018%20-MME.pdf>>. Acessado em agosto de 2018.
- [20] Ministério de Minas e Energia do Brasil. *Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro*. Governo Federal – Brasil, novembro de 2018.
- [21] Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior. *Relatório Final - Grupo de Trabalho Solar Fotovoltaico*. Disponível em <http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITARIO/sdci/2018-Relatorio-GTFotovoltaico-Camex.pdf>. Acessado em setembro de 2018.
- [22] Neosolar Energia. *Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes*. Disponível em <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acessado em outubro de 2018.
- [23] Oxford University. *Oxford Living Dictionaries*. Disponível em <[https://en.oxforddictionaries.com/definition/alternative\\_energy](https://en.oxforddictionaries.com/definition/alternative_energy)>. Acessado em setembro de 2018.
- [24] Portal Energia – Energias Renováveis. *Vantagens e desvantagens da energia a biomassa*. Disponível em <<http://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-biomassa/>>. Acessado em setembro de 2018.
- [25] Portal Solar Ltda. *Energia Alternativa*. Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br/>>. Acessado em outubro de 2018.
- [26] Renewable Energy Policy Network. *Renewables 2018 Global Status Report*. Disponível em <[http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_final\\_.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf)>. Acessado em dezembro de 2018.
- [27] República Federativa do Brasil. Lei nº 13.169 de 6 de outubro de 2015.
- [28] D. B. Reynolds. Energy Grades and Historic Economic Growth. *The Journal of Energy and Development*, 19(2): 245-264, 1994.
- [29] Solar Energy do Brasil. *Solução Residencial de Energia Solar*. Disponível em <<http://solarenergy.com.br/energia-solar/residencial/>>. Acessado em outubro de 2018.
- [30] P. Uczai. *Projeto de lei PL 6559/2013 – Dispõe sobre as atividades relativas a geração, transporte, filtragem, estocagem e geração de energia elétrica térmica e automotiva com biogás, e dá outras providências*. PT/SC, 2013.